



SKRIPSI – ME 141501

**ANALISA PERBANDINGAN RPM DAN TORSI
TURBIN TIPE DARRIEUS TERHADAP EFISIENSI
TURBIN**

ARIS FEBRIANTO

NRP 4208 100 009

Dosen Pembimbing :

Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



SKRIPSI – ME-141501

**ANALISA PERBANDINGAN RPM DAN TORSI
TURBIN TIPE DARRIEUS TERHADAP
EFISIENSI TURBIN**

ARIS FEBRIANTO
NRP 4208 100 009

Dosen Pembimbing
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – ME-141501

***COMPARATIVE ANALYSIS OF TORQUE AND RPM
DARRIEUS TURBINE TYPE FOR EFFICIENCY OF
TURBINE***

ARIS FEBRIANTO
NRP 4208 100 009

Supervisor
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBANDINGAN RPM DAN TORSI TURBIN TIPE DARRIEUS TERHADAP EFISIENSI TURBIN

SKRIPSI

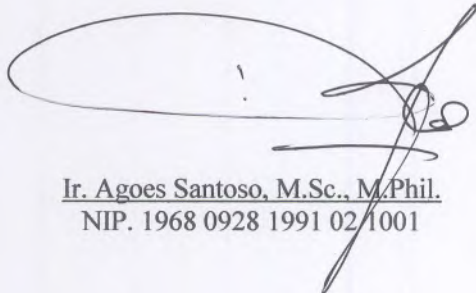
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIS FEBRIANTO

NRP. 4208 100 009

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.
NIP. 1968 0928 1991 02 1001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBANDINGAN RPM DAN TORSI TURBIN TIPE DARRIEUS TERHADAP EFISIENSI TURBIN

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

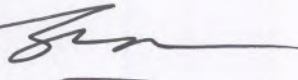
Oleh :

ARIS FEBRIANTO

NRP. 4208 100 009

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :




Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

ANALISA PERBANDINGAN RPM DAN TORSI TURBIN TIPE DARRIEUS TERHADAP EFISIENSI TURBIN

Nama Mahasiswa : Aris Febrianto
NRP : 4208 100 009
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK
ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

ABSTRAK

Telah dilakukan studi eksperimental untuk mengetahui pengaruh Mekanisme *Active Pitch* pada Turbin Hidrokinetik Tipe Darrieus terhadap efisiensi turbin. Eksperimen dilakukan di Umbulan, Pasuruan. Variasi kecepatan yang digunakan untuk eksperimen adalah 0.674 m/s, 0.806 m/s, 0.944 m/s dengan menggunakan 3 variasi jumlah foil, 3, 6 dan 9 foil. Hasil yang diperoleh adalah pengukuran nilai rerata Torsi maksimum mekanisme 3 foil pada kecepatan 0.944 m/s sudut azimuth 30° sebesar 5.36 Nm, sedangkan rerata RPM maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 21.1 Rpm. Sedangkan 6 foil hasil pengukuran nilai rerata Torsi maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sudut azimuth 30° sebesar 5.4 Nm, sedangkan rerata RPM maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 12.5 Rpm. Dan 9 foil menghasilkan pengukuran nilai rerata Torsi maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sudut azimuth 30° sebesar 5.45 Nm, sedangkan rerata RPM maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 10.9 Rpm. Data hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi 3 foil memiliki efisiensi turbin terbaik dengan nilai 91.6 % pada kecepatan arus 0.994 m/s.

Kata Kunci—Turbin Hidrokinetik, Tipe *Darrieus*, mekanisme *Active-Pitch*, Sudut Azimuth, Efisiensi Turbin

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

***COMPARATIVE ANALYSIS OF TORQUE AND RPM
Darrieus TURBINE TYPE FOR EFFICIENCY OF TURBINE***

Nama Mahasiswa : Aris Febrianto
NRP : 4208 100 009
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK
ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

ABSTRACT

Experimental studies have been conducted to determine the effect on the mechanism of Active Pitch Type hidrokinetik Darrieus turbine for turbine efficiency. Experiments conducted in Umbulan, Pasuruan. Variations in the speed used for the experiment is 0674 m / s, 0806 m / s, 0944 m / s with 3 variations in the amount of foil, 3.6 and 9 foil. The results obtained are the mean value of maximum torque measurement mechanism 3 foil at a speed of 0944 m / s azimuth angle of 30° at 5:36 Nm, while average maximum RPM at a speed of 0944 m / s at 21.1 Rpm.sedangkan 6 foil measurement results at a mean value of maximum torque speed of 0944 m / s 30° azimuth angle of 5.4 Nm, while average maximum RPM at a speed of 0944 m / s at 12.5 rpm. 9 foil and produces measurement mean value of maximum torque at a speed of 0944 m / s azimuth angle of 30° at 5:45 Nm, while average maximum RPM at a speed of 0944 m / s at 10.9 rpm. The measurement data can be concluded that the three variations foil turbine efficiency best with 91.6% in the value of the flow velocity 0994 m / s.

Keywords—Hydrokinetic Turbine, Darrieus Type, Active-Pitch mechanism, azimuth angle, Turbine Efficiency

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan ini saya panjatkan puji syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat dan pertolongan-Nya penulis diijinkan dan dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“ANALISA PERBANDINGAN RPM DAN TORSI TURBIN TIPE DARRIEUS TERHADAP EFISIENSI TURBIN”**. Laporan ini disusun untuk memenuhi mata kuliah Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Skripsi ini membahas mengenai pengaruh semakin lebar diameter dan penambahan airfoil pada turbin terhadap daya yang di hasilkan turbin angin tersebut.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
2. Bapak Indra Ranu Kusuma, ST., MT. selaku ketua program studi Sarjana S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
3. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc.,M.Phil selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis. Serta dukungan moril dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu tercinta beserta keluarga di rumah yang selalu memberikan doa dan kasih sayang selama menempuh kuliah. Dan bekerja keras siang dan malam untuk membiayai kuliah.
5. Saudara – saudara saya di rumah yang selalu memberikan dukungan dan semangat.

6. Teman-teman BIREME'08 yang selalu memberikan semangat.
7. Adik-Adik Angkatan 2009, 2010 ,2011 dan 2012 yang selalu memberikan semangat.
8. Serta bagi pihak lain, teman-teman dan sahabat-sahabatku yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 29 Juli 2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Turbin	5
2.2 <i>Turbin Darrieus</i>	5
2.3 <i>Airfoil</i> NACA0018	7
2.4 Gaya <i>Lift</i> dan <i>Drag</i>	8
2.5 <i>Reynold Number</i>	9
2.6 Mekanisme <i>Active-Variable Pitch</i>	10
2.7 Daya Air	11
2.8 Performansi dan Efisiensi Turbin	12
2.9 <i>Aspect Ratio</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Foto prototype tubin	19
4.2 Lokasi Eksperimen	19
4.3 Tahap Eksperimen.....	20
4.4 Perhitungan daya mekanik turbin.....	26
4.6 Perhitungan efisiensi turbin	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan.....	29
5.2 Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA	31

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rendahnya ketahanan negara di bidang energi merupakan salah satu penghambat pertumbuhan ekonomi nasional. Permintaan sumber energi nasional yang paling tinggi diduduki oleh batu bara sebesar 40% dan minyak bumi sebesar 23%, lalu diikuti oleh gas sebesar 22%, panas bumi sebesar 3% serta sumber energi terbarukan lainnya sebesar 12%.

Alasan ini menjadikan suatu peluang untuk mengembangkan suatu energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. Di lain pihak, Indonesia merupakan negara maritim yang sebagian besar luas wilayahnya didominasi oleh laut yang luas. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia terutama pemanfaatan potensi besar energi arus laut yang mampu dijadikan sebagai energi baru terbarukan (Ray R.D. dkk., 2005).

Arus laut memiliki energi kinetik yang tidak terbatas sehingga sangat cocok untuk dijadikan salah satu sumber energi listrik terbesar. Kecepatan arus laut di beberapa perairan Indonesia seperti Bali dan Nusa Tenggara mencapai 2,5 – 3,4 m/s. (Lubis & Yuningsih, 2011). Maka dari itu, pemanfaatan turbin hidrokinetik sebagai pengkonversi energi harus dioptimalkan untuk mengekstrak energi kinetik arus laut menjadi energi listrik.

Jenis turbin hidrokinetik mengadopsi desain dan teori dari *wind turbine* yaitu jenis horizontal aksis dan jenis vertikal aksis (Paraschivoiu I., 2002). Turbin vertikal aksis sangat cocok jika digunakan untuk perairan Indonesia karena kecepatan aliran termasuk kriteria kecil hingga sedang (*low Tip Speed Ratio*). Banyak jenis turbin vertikal aksis yang dikembangkan untuk keperluan pembangkitan listrik, salah satunya adalah tipe *Darrieus*. Turbin *Darrieus* memiliki efisiensi cukup baik jika dibandingkan dengan tipe *Savonius* walau dalam aplikasinya

masih memiliki *torque ripple* besar dan *lift and drag force* yang bervariasi . (Guney M.S., 2011).

Berbicara tentang turbin Darrieus, beberapa riset telah dilakukan untuk memanfaatkan mekanisme *fixed pitch* dan *variable pitch* dalam mengoptimalkan nilai gaya angkat (*lift force*) sebagai gaya penggerak turbin pada setiap pergerakan *foil* sepanjang sudut azimuth. Beberapa hasil penelitian telah menyimpulkan hasil simulasi terhadap turbin sumbu vertikal aksis di mana mekanisme *pitch* sebagai perubahan sudut serang mampu mempengaruhi nilai torsi yang dihasilkan. (Syed dkk., 2013). Pada kondisi yang sama, Hantoro telah melakukan investigasi eksperimen pada *passive variable-pitch* vertikal aksis turbin arus laut menggunakan 3-straight bladed NACA 0018. Hantoro juga menjelaskan *Lift and Drag Force* yang sangat berpengaruh terhadap performansi dan efisiensi turbin Darrieus dapat ditingkatkan dengan mekanisme *passive-variable pitch* (Hantoro, dkk., 2011).

Telah dilakukan studi eksperimental *flapping wing* sebagai mekanisme *passive-variable pitch* pada turbin 3 *straight-blade* tipe Darrieus untuk sudut pitch 10° dan 20° . (Garynda, Mecha, 2014) , namun hasil eksperimen menunjukkan kekurangan dalam aspek perolehan gaya angkat foil terbaik di setiap travelling rotasi, yaitu pada azimuth 0° dan 90° menghasilkan nilai gaya seret (*drag*) yang cukup besar akibat sudut serang foil yang tidak optimal. Selain itu, studi eksperimen mengenai kombinasi *cascade* antara *fixed pitch* dan *passive-variable pitch* telah dilakukan dan diketahui pengaruh kecepatan aliran dan jumlah foil pada turbin Darrieus berpengaruh terhadap nilai *solidity*, torsi, dan RPM. (Widya Mandala, Seno , 2015).

Dari beberapa pernyataan tersebut, kekurangan mekanisme *fixed* dan *passive-variable* yang akan dijadikan terobosan desain turbin darrieus terbaru dari perkembangan vertikal aksis turbin hidrokinetik tipe Darrieus menggunakan *airfoil straight-bladed* NACA 0018 untuk memaksimalkan gaya *Lift* dengan mencari sudut serang terbaik di setiap 15° pergerakan foil di sepanjang azimuth rotasi.

Penelitian ini difokuskan pada analisis perbandingan RPM dan torsi pada turbin hidrokinetik tipe Darrieus menggunakan *airfoil* NACA 0018 diameter 40 cm. Analisis dilakukan dengan cara studi eksperimental dengan membandingkan turbin tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Merujuk pada latar belakang yang telah disebutkan di atas, permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perbedaan RPM turbin dengan jumlah foil yang berbeda.
2. Bagaimana pengaruh perbedaan torsi turbin dengan jumlah foil yang berbeda.
3. Berapa besar nilai efisiensi turbin yang dihasilkan

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. *airfoil* yang digunakan adalah *straight-bladed* seri NACA 0018,
2. aliran yang digunakan untuk proses pengambilan data adalah arus sungai kanal terbuka.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui perbandingan RPM turbin dengan jumlah foil yang berbeda.
2. Untuk mengetahui perbandingan torsi turbin dengan jumlah foil yang berbeda.
3. Untuk mengetahui efisiensi turbin

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin

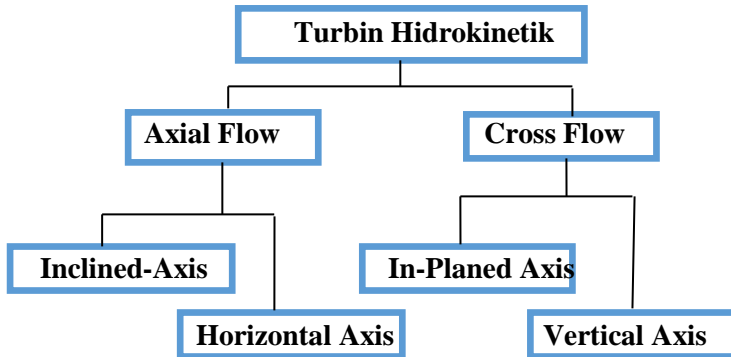
Turbin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang umum digunakan untuk menghasilkan energy listrik. Terdapat banyak macam turbin seperti *Steam Turbine*, *Gas Turbine*, *Wind Turbine*, dan *Hydrokinetic Turbine* (Setiaji, 2011). Yang membedakan dari turbin-turbin tersebut adalah sumber energi yang dimanfaatkannya. Sumber energi yang biasa digunakan untuk memutar sebuah turbin dalam kehidupan sehari-hari biasanya menggunakan sumber energi air atau angin, sedangkan sumber uap (*steam*) dan gas biasanya digunakan dalam perindustrian yang membutuhkan sumber listrik skala besar. Saat ini telah dilakukan pengembangan mengenai penggunaan turbin dengan memanfaatkan tenaga arus laut untuk menghasilkan listrik. Banyaknya penggunaan turbin tersebut pada dasarnya menggunakan teknologi yang sama yakni *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT).

Hydrokinetic Turbine adalah sebuah energi terbarukan yang memanfaatkan pergerakan air yang menghasilkan energy kinetik cukup besar sehingga dapat digunakan untuk pembangkitan listrik menggunakan turbin. Air dibendung dan diantara air bendungan dan penstock terdapat gate (gerbang) yang digunakan untuk mengalirkan air ke turbin..penstock adalah pipa besar yang digunakan untuk mengalirnya air ke turbin sehingga nantinya turbin akan memutar generator untuk menghasilkan listrik.

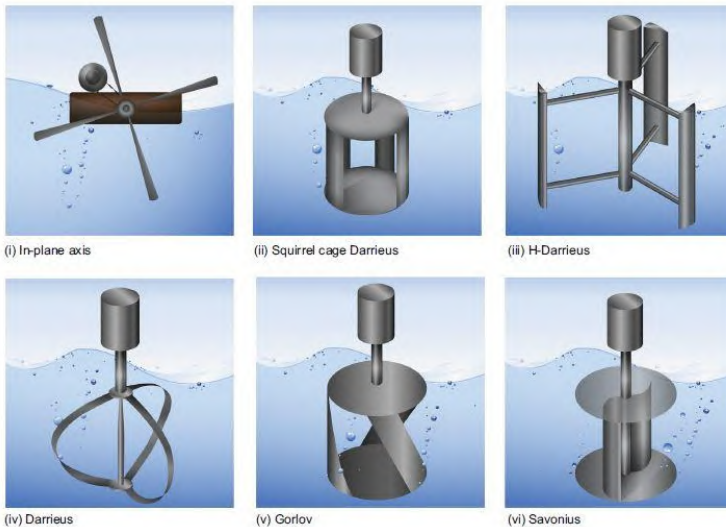
2.2 Turbin Darrieus

Ada dua jenis bentuk turbin arus sungai maupun turbin angina yaitu *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT). Dalam penelitian kali ini turbine yang digunakan adalah bentuk VAT (*Vertical Axis Turbine*) tipe Darrieus. Model VAT sendiri terdiri dari 5 model yaitu SC-Darrieus (*Straight Blade*), H-Darrieus (*Straight Blade*), Darrieus (*Curved Blade*), Gorlov (*Helical Blade*), dan Savonius (*Straight/Skewed*). Berikut

ini adalah klasifikasi model *Hydrokinetic Turbine* dari sebuah turbin :

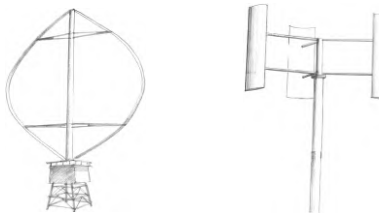


Gambar 2.2. Klasifikasi Model *Hydrokinetic Turbine* (Khan, dkk., 2009).



Gambar 2.3. *Vertical Axis Turbine* (Vermaak, dkk., 2013)

Turbin tipe Darrieus didesain oleh *George Jeans Maria Darrieus*, seorang insinyur dari Perancis. Model ini dipatenkan pada tahun 1931 di Amerika, baik jenis “*Curved Bladed*” dan juga “*Straight-bladed*”. Tipe Darrieus pada dasarnya gaya angkat yang digerakkan turbin angin. Turbin ini terdiri dari dua atau lebih sudu berbentuk *airfoil* yang terpasang pada poros vertikal. Angin bertiup atas kontur sudu *airfoil* yang menciptakan gaya angkat aerodinamis yang kemudian menggerakkan rotor secara bersamaan.



Gambar 2.4. Model *Curved Bladed* dan *Straight Bladed*
(Mazharul, dkk., 2006).

Dalam penelitian ini Turbin Tipe Darrieus yang digunakan adalah model *Straight-Bladed* dengan jenis simetris seperti NACA dengan seri 4-digit yaitu NACA0018. Yang mana memungkinkan untuk mempunyai *self-start* yang lebih besar. Ketidakmampuan *self-start* dapat dipengaruhi oleh faktor aerodinamika. Sehingga desain baik ukuran geometri maupun mekanik patut dipertimbangkan sebelum fabrikasi turbin dilakukan.

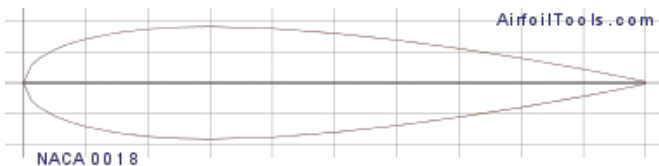
2.3 Airfoil NACA0018

Airfoil adalah sebuah bentuk sayap atau blade atau pisau (baling-baling sebuah turbin atau rotor). *Airfoil* sendiri yang terdapat pada sebuah turbin atau rotor apabila dikenai sebuah aliran fluida akan menimbulkan gaya aerodinamis. Komponen gaya tegak lurus terhadap arah gerakan disebut gaya angkat (*Lift*). Komponen yang sejajar arah gerak disebut gaya tarik (*Drag*). *Airfoil* ini umumnya digunakan di sayap pesawat, namun aplikasi dari *Airfoil* ini dapat digunakan pada sebuah blade turbin atau

roror. Foil yang dirancang untuk digunakan pada sebuah turbin air dan air tersebut sebagai fluida kerjanya disebut *Hydrofoil*.

NACA *airfoil* adalah bentuk sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh Komite Penasihat Nasional untuk Aeronautika (NACA). Bentuk *airfoil* dijelaskan menggunakan serangkaian digit mengikuti kata NACA. Parameter dalam kode numerik dapat dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan penampang *airfoil* dan menghitung sifat-sifat dari *airfoil* itu sendiri.

NACA 4 – digit mendefinisikan profil sebagai berikut, satu digit awal merepresentasikan maksimum *camber* sebagai persentase dari panjang *chord*. Digit kedua menggambarkan jarak maksimum *camber* dari *airfoil leading edge* dalam puluhan persentase dari *chord*. Dua digit terakhir menggambarkan persentase ketebalan maksimum dari *chord*. Sebagai contoh, *airfoil* NACA4418 asimetris memiliki maksimum *camber* 4% terletak 40% (0,4 chords) dari *leading edge* dengan ketebalan maksimum sebesar 18% dari *chord*. NACA0018 simetris dengan 00 menunjukkan bahwa *airfoil* ini tidak memiliki *camber*. Angka 18 menunjukkan besarnya persentase ketebalan dari panjang *chord*.

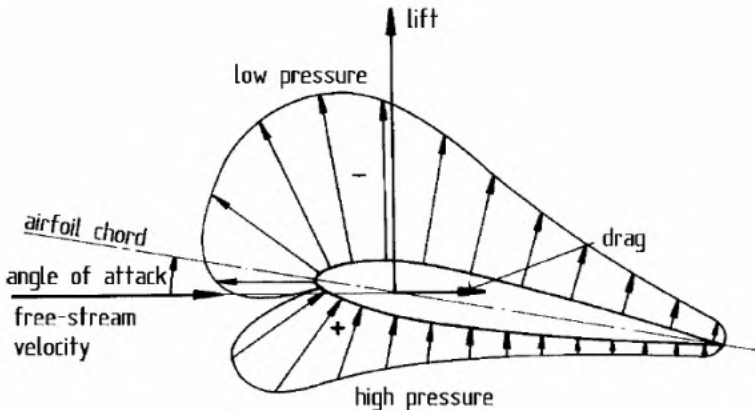


Gambar 2.5. Bentuk *airfoil* NACA0018

2.4. Gaya *Lift* dan *Drag*

Suatu benda padat yang berbentuk apapun itu jika ditempatkan dalam suatu aliran fluida akan menghasilkan gaya angkat dan gaya seret (Hantoro, dkk., 2011). Gaya aerodinamis total pada umumnya terdiri dari dua komponen, yakni gaya angkat dan gaya seret. Sebuah turbin arus laut tipe Darrieus diposisikan dalam suatu aliran fluida maka *airfoil* pada turbin tersebut akan memiliki gaya *lit* dan *drag*. Gaya *lift* terjadi ketika tekanan udara di bawah permukaan lebih tinggi daripada tekanan

udara di atas permukaan. *Airfoil* pada turbin dilalui sebuah fluida sehingga adanya perbedaan tekanan dan kecepatan aliran pada permukaan atas dan bawah *airfoil*. Fase ini menyebabkan perbedaan tekanan udara yang kemudian mengalir dari ujung *airfoil* menuju permukaan atas dan bawah. Turbin Darrieus memanfaatkan gaya *lift* untuk memutar turbin dan mengkonversi gaya *lift* menjadi torsi positif ketika *airfoil* bergerak cukup cepat dibandingkan dengan kecepatan arus *free stream*. Seperti saat *airfoil* berputar, akan terjadi kecepatan aliran relatif berubah pada turbin yang merupakan penjumlahan vektor kecepatan aliran lokal dan kecepatan putar *airfoil* itu sendiri. Kedua sudut datang aliran relatif ini dan besarnya kecepatannya bervariasi dengan posisi orbit pisau sepanjang 360° disebut sebagai sudut *azimuth*. Dari penjelasan di atas dapat didefiniskan bahwa komponen yang sejajar terhadap kecepatan aliran relatif adalah gaya seret (*drag*), sedangkan komponen yang tegak lurus adalah gaya angkat (*lift*).



Gambar 2.6. Gaya *Lift* dan *Drag* pada airfoil
(Erich Hau., 2000)

2.5. Reynolds Number

Reynold Number adalah rasio antara gaya inersia (v_{sp}) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu.

Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen.

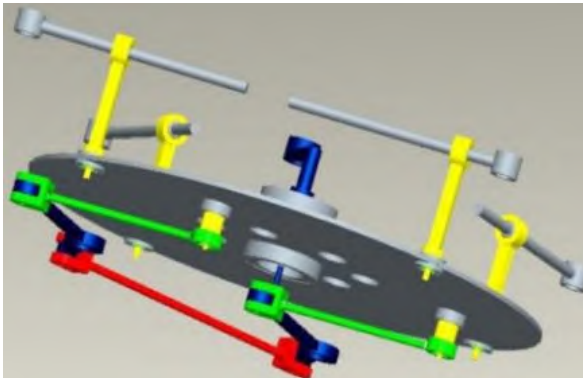
$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Munson, dkk., 2003})$$

Dengan :

- P : Kerapatan fluida (kg/m^3)
- V : Kecepatan fluida (m/s)
- D : Panjang karakteristik
- μ : Viskositas fluida absolut dinamis

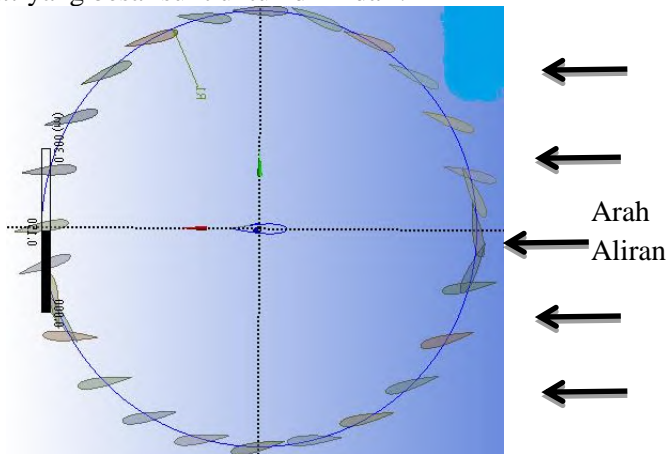
2.6. Mekanisme *Active-Variable Pitch*

Mekanisme *Active Pitch* di mana actuator sebagai penggerak *airfoil* untuk membentuk sudut serang tertentu merupakan pengembangan dari *Variable Pitch* sebelumnya yaitu *Passive Pitch*. Mekanisme *Active Pitch* merupakan desain pergerakan *airfoil* untuk membentuk sudut serang terbaik di sepanjang pergerakan *foil* pada 360° sudut azimuth untuk mendapatkan nilai C_L optimal dan menghindari nilai C_D akibat fenomena *dynamic stall* pada *foil* seminimal mungkin.



Gambar 2.7. Mekanisme *Active-Variable Pitch*
(Syed Khalid, 2009)

Mekanisme *Active Pitch* diharapkan mampu memperbaiki performansi mekanisme *Passive Pitch* dan *Fixed Pitch*. Ketidakmampuan *Fixed Pitch* dalam melakukan *self-starting* dan membentuk sudut serang terbaik. *Passive Pitch* walaupun memiliki *self-starting* baik namun ketidakmampuan membentuk sudut serang terbaik sehingga pada sudut azimuth tertentu hambatan putaran turbin oleh gaya *drag* dan fenomena *dynamic stall* yang besar sulit untuk dihindari.



Gambar 2.8. Mekanisme *Active-Variable Pitch*

2.7. Daya Air

Persamaan untuk menghitung tenaga air yang tersedia adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Dengan :

P = Daya air (watt)

ρ = Rapat massa air (kg/m^3)

A = Area tegak lurus terhadap arah air dibentuk oleh rotor (m^2)

V = Kecepatan air dalam (m/s)

Output daya dari turbin berubah terhadap rpm sehingga performansi rotor biasanya direpresentasikan dalam grafik koefisien performansi terhadap tip speed ratio (TSR). Dimana TSR didefinisikan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (\text{Robert, 1978})$$

Dengan :

- R : Radius maksimum dari rotor (m)
 ω : rpm rotor (rad/s)
 U : Kecepatan air (m/s)

2.8. Performansi dan Efisiensi Turbin

Performansi dari turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai performansi maka data yang dibutuhkan adalah putarab dari turbin atau RPM (ω) dan torsi (T). Persamaan untuk menghitung performansi turbin adalah sebagai berikut :

$$W_s = T \cdot \omega$$

Untuk menentukan efisisensi turbin tersebut dapat dicari dengan menggunakan model *streamtube analysis* yaitu dengan cara membandingkan daya keluaran pada turbin dengan *kinetic energi flux*. Berikut adalah persamaan untuk mecari efisiensi dari turbin tersebut :

$$\eta = \frac{P}{KEF}$$

Dengan :

- P = daya keluaran turbin
 KEF = *Kinetic Energi Flux*

$$KEF = \frac{1}{2} \rho v^3 2\pi r l$$

Dengan :

- ρ = massa jenis fluida
 v = kecepatan fluida sebelum turbin
 r = jari-jari turbin
 l = panjang blade

2.9. Aspect Ratio

Aspect Ratio adalah perbandingan antara tinggi turbin dan diameter turbin (Xue-ming, dkk., 2009). Dalam penelitian ini aspek rasio sangat diperhatikan dalam ukuran blade sebuah turbin. Dalam blade turbin aspek rasio adalah perbandingan antar luas sebuah blade dengan panjang sebuah blade. Sebuah aspect ratio yang tinggi menunjukkan sayap yang panjang dan memiliki luas sayap yang sempit, sedangkan aspect ratio yang rendah menunjukkan sayap yang pendek dengan luasan sayap yang besar. Adapun aspek rasio yang digunakan pada blade dan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{Ncl}{S}$$

$$C_r = \frac{c}{R}$$

$$AR = \frac{l}{c}$$

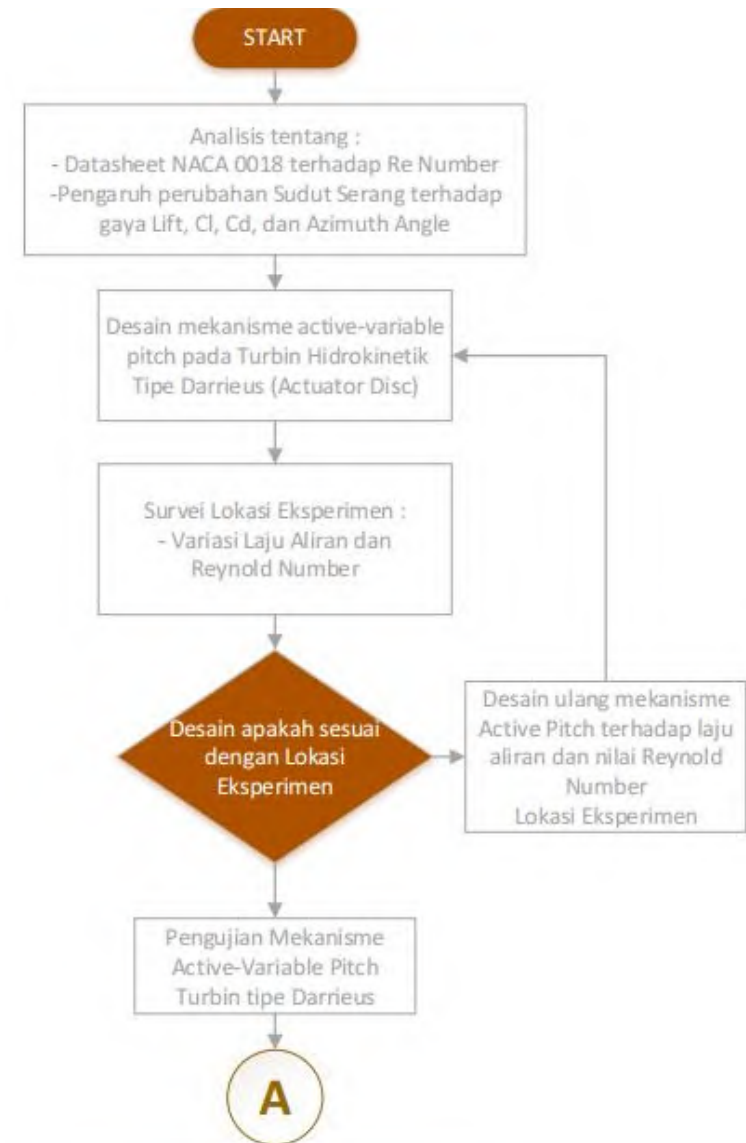
Di mana σ adalah *rotor solidity*, C_r adalah rasio chord ke panjang dari *foil*, AR adalah *aspect ratio blade*, N adalah banyaknya *foil*, c adalah panjang chord, l adalah panjang *foil*, S merupakan luas sapuan turbin, dan R adalah radius maksimum turbin.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

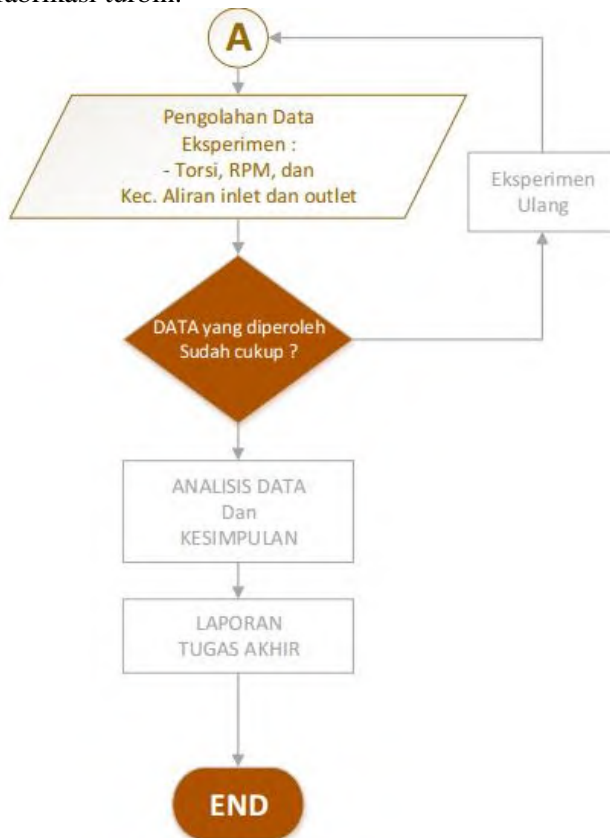
Untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan maka diperlukan sebuah metodologi penelitian yang disediakan *flowchart* yang merupakan langkah-langkah penyelesaian monitoring hasil penelitian yang disusun secara logis dan sistematis. Adapun tahapan penelitian tersebut dijelaskan pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2**.

Eksperimen ini diawali dengan studi literatur sebagai referensi untuk mengawali penelitian ini, sehingga bisa diketahui apa yang harus dilakukan dan diteliti untuk penelitian ini. Kemudian menentukan lokasi eksperimen yang akan digunakan untuk pengujian alat dan pengambilan alat. Penentuan lokasi eksperimen ini juga berguna untuk menentukan dimensi ukuran mekanisme *Active Pitch* pada blade dan juga ukuran geometri dari turbinnya sendiri. Setelah penentuan lokasi eksperimen, dilakukan penentuan variable bebas yang akan digunakan untuk pengambilan data. Variabel bebas tersebut adalah kecepatan fluida atau kecepatan aliran arus sungai yang akan menjadi variasi untuk pengambilan data. Variasi kecepatan arus sungai yang digunakan ada 3 variasi yaitu 0,67 m/s, 0,81 m/s, dan 0,99 m/s. Variabel bebas yang digunakan selanjutnya adalah variasi mekanisme pitch baik *fixed* maupun *variable pitch* (*passive pitch* & *active pitch*). Variasi ini digunakan untuk mengetahui apakah dengan desain *actuator disc* sebagai mekanisme *active pitch* pada bilangan *Reynold* aliran fluida 300.000 memiliki performansi jauh lebih baik dibandingkan dengan *fixed pitch* dan *passive pitch* 20° dengan membandingkan nilai efisiensi turbin dan performansi berupa nilai Torsi dan RPM.



Gambar 3.1. Flowchart Metode Penelitian Bag.1

Kemudian dilakukan penentuan geometri turbin yang akan digunakan untuk eksperimen ini. Geometri yang digunakan harus sesuai dengan dimensi ukuran sungai. Jika geometri turbin ini sudah sesuai dengan ukuran dimensi sungai maka akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya, namun jika geometri turbin belum sesuai dengan dimensi turbin maka dilakukan kembali untuk penentuan geometri turbin. Fabrikasi turbin akan dilakukan setelah penentuan geometri turbin sudah dilaksanakan. Sehingga kita dapat mengetahui ukuran geometri berapa yang dibutuhkan untuk fabrikasi turbin.



Gambar 3.2. Flowchart Metode Penelitian Bag.

Setelah fabrikasi selesai dilakukan, maka dilanjutkan pengujian alat dan pengambilan data di lokasi eksperimen. Data berupa nilai RPM dan torsi masing-masing sebanyak 10 kali pengukuran per variasi diambil data rata-ratanya per variasi kecepatan. Kemudian didapatkan hasil eksperimen dan hasil tersebut diolah dan dianalisis dengan membandingkan nilai RPM maupun torsi terbaik. Setelah dianalisis datanya, data tersebut diambil kesimpulan bagaimana karakteristik dari mekanisme *active pitch* bila dibandingkan dengan data teori sebagai hipotesis. Penyusunan laporan adalah tahap terakhir setelah analisa data dan kesimpulan diperoleh.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Foto Prototype Turbin



Gambar 4.1. Profil turbin cascade

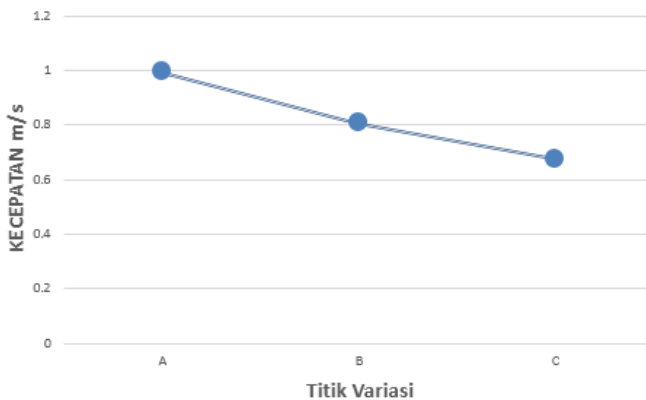
4.2 Lokasi Eksperimen

Lokasi Eksperimen turbin arus sungai ini bertempat di daerah Umbulan - Pasuruan, Jawa Timur. Di tempat ini terdapat kanal terbuka yang memiliki karakteristik yang sesuai dan dibutuhkan untuk eksperimen dan penelitian ini. Pada kanal tersebut memiliki perbedaan kecepatan aliran signifikan pada setiap titik tertentu sungai tersebut.

Kecepatan aliran tersebut akan digunakan untuk variasi dalam uji coba turbin dengan 3 variasi mekanisme *pitch* di sepanjang kanal tersebut. Berikut adalah profil kecepatan arus sungai dalam bentuk tabel :

Tabel 4.1. Data Lokasi Eksperimen

No.	Lokasi	Lebar permukaan air (m)	Kedalaman air (m)	Jarak pondasi sungai ke permukaan air (m)	Kecepatan aliran permukaan air (m/s)
1.	Umbulan A	1,02	1,6	0,09	1.017
2.	Umbulan B	1,03	1,5	0,11	0,806
3.	Umbulan C	1,04	1,58	0,15	0,67

**Gambar 4.2.** Grafik Profil kecepatan arus pada 3 titik lokasi Umbulan

4.3 Tahap Eksperimen

Pada tahap eksperimen ini dilakukan pengambilan data pada 3 titik variasi kecepatan aliran arus sungai berupa RPM dan Torsi. Pada eksperimen ini, pengambilan data diawali dengan pengukuran kecepatan aliran arus sungai menggunakan *Current*

Meter dengan propeller sebagai sensor mekanik dan m/s sebagai satuan pembacaan kecepatan aliran dari debit kanal terbuka.



Gambar 4.3. Alat ukur *Current Meter*

Pengukuran yang dilakukan di sepanjang kanal terbuka daerah Umbulan dengan 5 kali pengambilan data per titik lokasi :

Tabel 4.2. Pengukuran variasi kecepatan Arus (m/s)

No.	A	B	C
1	1.116	0.799	0.675
2	0.983	0.819	0.615
3	0.972	0.799	0.690
4	0.979	0.798	0.683
5	0.993	0.825	0.710
Rata-rata	0.994	0.806	0.6746

Setelah dilakukan pengukuran kecepatan arus air maka dilakukan eksperimen untuk menghitung torsi dan RPM pada turbin dengan variasi 3,6, dan 9 blade.

Berikut merupakan hasil pengukuran torsi turbin dengan perbandingan jumlah foil yang berbeda.

Tabel 4.3. Pengukuran torsi

No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	0	5.3	5.2	5.7
2		5.1	5.2	5.9
3		5.3	5.2	5.1
Rata-rata		5.23	52	5.56
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	30	5.3	6	5.8
2		5.4	5.8	5.4
3		5.6	5.4	5.4
Rata-rata		5.43	5.73	5.53
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	60	5.5	5.4	5.4
2		5.1	5.7	5.4
3		5.3	5.7	5.3
Rata-rata		5.3	5.6	5.36
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	90	5.3	5.9	5.1
2		5.8	5.2	5.8
3		5.5	5.1	5.9
Rata-rata		5.53	5.4	5.6

No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	120	5.6	5.1	5.7
2		5.2	5.1	5.2
3		5.2	5.1	5.2
Rata-rata		5.33	5.1	5.36

No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	150	5.7	5.1	5.3
2		5.3	5.1	5.3
3		5.3	5.1	5.3
Rata-rata		5.43	5.1	5.3
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	180	5.5	5.8	5.1
2		5.5	5.2	5.7
3		5.2	5.4	5.4
Rata-rata		5.4	5.46	5.4
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	210	5.2	5.4	5.1
2		5.2	5.4	5.6
3		5.2	5.1	5.6
Rata-rata		5.2	5.3	5.43

No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	240	5.3	5.1	5.6
2		5.9	5.5	5.6
3		5.9	5.5	5.6
Rata-rata		5.7	5.36	5.6

No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	270	5.4	5.7	5.7
2		5.3	5.1	5.9
3		5.3	5.1	5.8
Rata-rata		5.33	5.3	5.8
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	300	5.2	5.9	5.4
2		5.3	5.4	5.3
3		5.5	5.7	5.3
Rata-rata		5.33	5.66	5.33
No.	Sudut	Banyak Blade		
		3	6	9
1	330	5.2	6.5	5.1
2		5.2	5.2	5.3
3		5.1	5.2	5.3
Rata-rata		5.16	5.63	5.23

Sudut Azimuth	3	6	9
0	5.23	52	5.56
30	5.43	5.73	5.53
60	5.3	5.6	5.36
90	5.53	5.4	5.6
120	5.33	5.1	5.36
150	5.43	5.1	5.3
180	5.4	5.46	5.4
210	5.2	5.3	5.43
240	5.7	5.36	5.6
270	5.33	5.3	5.8
300	5.33	5.66	5.33
330	5.16	5.63	5.23
Rata-rata	5.36	5.4	5.45

Dari hasil tabel diatas dapat diketahui bahwa torsi tertinggi tercatat pada percobaan 9 foil dan semakin rendah pada 6 foil. Sedangkan 3 foil mempunyai nilai torsi paling rendah.

Tabel 4.4. Pengukuran RPM

No.	3 foil	6 foil	9 foil
1	17	12	11
2	19	14	12
3	22	13	10
4	23	12	12
5	20	13	11
6	21	14	10
7	22	11	12
8	22	12	10
9	24	11	11
10	21	13	10
rata-rata	21.1	12.5	10.9

4.4 Perhitungan daya mekanik turbin

Performansi dari turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai performansi maka data yang dibutuhkan adalah putarab dari turbin atau RPM (ω) dan torsi (T). Persamaan untuk menghitung performansi turbin adalah sebagai berikut :

$$W_s = T \cdot \omega$$

$$T_{3\text{foil}} = 5.36$$

$$T_{6\text{foil}} = 5.4$$

$$T_{9\text{foil}} = 5.45$$

$$\omega_{3\text{foil}} = 21.1$$

$$\omega_{6\text{foil}} = 12.5$$

$$\omega_{9\text{foil}} = 10.9$$

$$W_s_{3\text{foil}} = 5.36 \times 21.1 = \mathbf{113.096 \text{ J/s}}$$

$$W_s_{6\text{foil}} = 5.4 \times 12.5 = \mathbf{67.5 \text{ J/s}}$$

$$W_s_{9\text{foil}} = 5.45 \times 10.9 = \mathbf{59.405 \text{ J/s}}$$

4.5 Perhitungan efisiensi turbin

Untuk menentukan efisisensi turbin tersebut dapat dicari dengan menggunakan model *streamtube analysis* yaitu dengan cara membandingkan daya keluaran pada turbin dengan *kinetic energi flux*. Berikut adalah persamaan untuk mecari efisiensi dari turbin tersebut :

$$\eta = \frac{P}{KEF}$$

Dengan :

P = daya keluaran turbin

KEF = *Kinetic Energi Flux*

$$KEF = \frac{1}{2} \rho v^3 2\pi r l$$

Dengan :

ρ = massa jenis fluida
 v = kecepatan fluida sebelum turbin
 r = jari-jari turbin
 l = panjang blade

$$P_{3\text{foil}} = 113.096 \text{ J/s}$$

$$P_{6\text{foil}} = 67.5 \text{ J/s}$$

$$P_{9\text{foil}} = 59.405 \text{ J/s}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0.994 \text{ m/s}$$

$$r = 0.2 \text{ m}$$

$$l = 0,4 \text{ m}$$

$$KEF = \frac{1}{2} \times 1000 \times (0.994)^3 \times 3.14 \times 0.2 \times 0.4$$

$$= \mathbf{123.35 \text{ J/s}}$$

$$\eta_{3\text{ foil}} = 113.096 / 123.35 \times 100\% = \mathbf{91.6\%}$$

$$\eta_{6\text{ foil}} = 67.5 / 123.35 \times 100\% = \mathbf{54.7\%}$$

$$\eta_{9\text{ foil}} = 59.405 / 123.35 \times 100\% = \mathbf{48.15\%}$$

Dari hasil diatas telah didapatkan angka efisiensi dari turbin dengan 3 foil mendapatkan efisiensi tertinggi mencapai 91.6%, sedangkan yang menggunakan 6 foil mendapat angka 54.7%. Nilai efisiensi paling rendah adalah 48.15% ketika memakai 9 foil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran eksperimen, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Hasil dari variasi 3 foil pada kecepatan 0.944 m/s sudut azimuth 30° mendapatkan torsi rata-rata sebesar 5.36 Nm, sedangkan rerata RPM maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 21.1 Rpm.
2. Hasil dari variasi 6 foil pada kecepatan 0.944 m/s sudut azimuth 30° mendapatkan torsi rata-rata sebesar 5.4 Nm, sedangkan rerata RPM maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 12.5 Rpm.
3. Hasil dari variasi 3 foil pada kecepatan 0.944 m/s sudut azimuth 30° mendapatkan torsi rata-rata sebesar 5.45 Nm, sedangkan rerata RPM maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 10.9 Rpm.
4. Variasi 3 foil memiliki nilai efisiensi turbin terbaik dengan nilai 91.6 % pada kecepatan arus 0.994 m/s. Sedangkan 6 foil hanya mencapai 54.7 %. Dan yang paling rendah 9 foil dengan efisiensi 48.15 %

5.2. Saran

Beberapa saran yang perlu dipertimbangkan setelah dilakukan eksperimen mengenai mekanisme *active pitch* lebih lanjut adalah :

1. Mencari tempat pengambilan data dengan lokasi yang mempunyai range kecepatan aliran yang bervariasi rendah – sedang (0.4 s.d. 1.4 m/s).
2. Dalam hal ini mekanisme *active pitch* pada turbin Darrieus masih perlu dikembangkan lagi agar performansinya dapat melebihi mekanisme *passive pitch*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Balaka, R., and Rachman, A. 2012. "Pitch Angle Effect for Horizontal Axis River Current Turbine". **Procedia Engineering** 50 (2012) 343-353
- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., and Quaicoe, J. E. 2009. "Hydrokinetic energi conversion systems and assessment of horizontal and vertikal axis turbines for river and tidal applications: A technology status review". **Applied Energy** 86 (2009) 1823-1835
- Hantoro, R., Utama, I. K. A. P., Erwandi, and Sulisetyono, A. 2011. "An Experimental Investigation of Passive Variable Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine". **ITB J. Eng. Sci.**, Vol. 43, No. 1, 2011, 27-40
- Calcagno, G., Salvatore, F., Greco, L., Moroso, A., and Eriksson, H. 2006. "An Experimental Investigation and a Theoretical and Computational Methodology to Study an Innovative Technology for Marine Current Exploitation: the Kobold Turbine". **Bollettino della Comunità Scientifica in Australasia**, December 2006
- C., Robert. 1978. "Torque Ripple in a Vertical Axis Wind Turbine". **Sandia National Laboratories Albuquerque**.
- Munson, B. R., Young, D. F., and Okiishi, T. H. 2002. "Fundamentals of Fluid Mechanics (4th Edition)". **Iowa State University, USA**.
- McDonald A.T, Fox R W., "Introduction to Fluid Mechanics". **School of Mechanical Engineering, Purdue University, Canada**, 1994
- Paraschivoiu, I. 2002. "Wind Turbine Design with Emphasis on Darrieus Concept". **Polytechnic International Press**

- Birjandi, A. h., 2012. "Effect of Flow and Fluid Structures on the Performance of Vertical River Hydrokinetic Turbines". **Faculty of Graduate Studies of the University of Manitoba**, 2012.
- Ariadi, M, Hishom., "Studi Numerik Dan Eksperimental Performansi Turbin Arus Air Tipe Vertikal Axis dengan Variasi Jumlah Blade Dan Efek Aspect Ratio". **Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, Surabaya, 2011
- Setiaji, Akhmad, S., "Studi Numerik Dan Eksperimental Performansi Turbin Vertikal Axis Arus Air dengan Variasi Seri Airfoil Dan Panjang Chord". **Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, Surabaya, 2011
- Jing, Fengmei. "Experimental research on tidal current vertical axis turbine with variable-pitchblades". **Deep Water Engineering Research Centre, Ocean Engineering** **88(2014) 228–241**.2014
- W.A Timmer. "Two Dimensional Low-Reynold Number wind tunnel result for airfoil NACA 0018". **Faculty of Aerospace - Delft University of Technology**, Netherland.2008

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik pada tanggal 14 februari 1989 dengan nama lengkap Aris Febrianto yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Sudirman dan Sulasih. Penulis telah menempuh pendidikan formal yakni di SDN Sidokumpul 2 gresik, SMPN 1 Gresik, SMAN 5

surabaya dan terakhir di ITS Surabaya mengambil jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Penulis diterima di ITS melalui jalur PMDK reguler pada tahun 2008 dan terdaftar dengan NRP 4208100009. Penulis aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan dan berorganisasi selama menjalani pendidikan di ITS. Pada periode 2010-2011, penulis aktif sebagai staff kementrian Riset dan Teknologi BEM FTK-ITS dan staff Hubungan Kelembagaan JMMI-ITS. Dan pada periode 2011-2012, penulis mendapat amanah sebagai staff ahli di BEM-FTk. Penulis aktif sebagai anggota laboratorium 2011-2016 dan selama 3 tahun menjadi asisten praktikum listrik 1. Pada tahun 2016, penulis menyelesaikan studi Strata-1 di jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dengan mengambil tugas akhir bidang *Marine Manufacture And Design* (MMD). Email : arisfebrianto86@gmail.com